

PALÉONTOLOGIE ÉVOLUTIVE ET NOUVELLE TECTONIQUE

par Richard REYMENT

(Paleontologiska Institutet, Uppsala Universitet, Box 558, S75122, Suède)

Résumé. — L'importance de la Nouvelle Tectonique dans l'hypothèse de la dérive des continents de Wegener et les diverses notions de géophysique qui y sont relatives seront brièvement commentées. Le rôle de la paléontologie comme outil de premier ordre dans l'interprétation des résultats de la géophysique sera illustré pour la région classique de l'Atlantique Sud, pendant le Crétacé.

INTRODUCTION

On parle aujourd'hui de « révolution dans les sciences de la terre ». De l'avis de l'expert canadien dans le domaine de la Géophysique, J. T. Wilson, le temps est déjà venu d'effectuer une révision totale des cours universitaires de géologie.

Mais il y a lieu de se rappeler que, par le passé, c'étaient les géophysiciens eux-mêmes qui opposaient la résistance la plus forte à l'acceptation de la théorie de la dérive des continents.

Elle a cependant été adoptée par la plupart des géologues, quoique plusieurs points restent à élucider. Le plus important concerne la source d'énergie des mouvements. Différentes propositions ont été faites, mais personne n'a trouvé un mécanisme tout à fait acceptable pour expliquer les translations horizontales des continents. On a cependant conclu que deux ressources énergétiques pourraient déterminer les traits principaux de la terre.

Ce sont :

1) La « chaleur » interne de la terre qui provoque des mouvements convectifs dans le manteau et le déplacement horizontal des continents. (Cette proposition indique, qu'en dessous de la lithosphère, il existe une couche fluide.)

2) La circulation atmosphérique, déterminée par la radiation solaire.

A vrai dire, la question des ressources énergétiques reste le point le plus faible de la nouvelle tectonique.

LES CONTINENTS

La ligne de rivage des continents ne marque pas la limite entre la plateforme continentale et le fond de l'océan, parce que les continents sont en partie inondés par la mer. La région du plateau et de la pente continentale inondée constituent environ 10,9 % de la surface de la terre. Des variations de grande étendue du niveau de la mer sont bien connues ainsi que des changements d'une influence strictement locale.

LES MARGES CONTINENTALES

La structure générale des marges continentales permet de distinguer les trois types suivants : (voir Willm, 1967).

1) *Le type atlantique*, comprenant le rebord du plateau, la pente continentale, et la longue surélévation du fond de la mer. En outre, des mouvements de subsidence doivent caractériser une grande partie des marges continentales atlantiques.

2) *Le type andéen*, comprenant un rebord étroit et une fosse océanique au-dessous de la pente continentale.

3) *Le type d'arc insulaire*, comprenant un arc d'îles volcaniques, une fosse océanique, séparé du continent par un étroit bassin océanique. Dans l'Océan Pacifique, on distingue un cercle sisinique couramment nommé « ceinture de feu ».

LA DÉRIVE DES CONTINENTS

Avec Wyllie (1971), nous pouvons constater qu'aujourd'hui la Géologie se trouve en possession d'une théorie dominante qui, prise dans son intégralité, explique très bien l'histoire de la surface de notre planète. Il est vrai que nous nous trouvons dans une période extrêmement stimulante dans l'histoire de notre science.

Je présume que les participants à ce colloque connaissent en général l'hypothèse de Wegener (1915) dans sa présentation originale et que l'on se rappelle la discussion, souvent agitée, qui eut lieu dès 1910 et jusqu'à 1950 entre les protagonistes de l'hypothèse Wegenerienne et ses adversaires. On peut dire que le moment critique se situa en 1966 et 1967, lorsque quelques chercheurs montrèrent que trois caractères différents de la terre varient dans la même proportion : ce sont les renversements de la polarité magnétique du fond sous-marin, les profondeurs des inversions magnétiques dans des forages du fond de la mer, et les intensités des anomalies magnétiques se prolongeant parallèlement à des crêtes médio-océaniques. Les résultats obtenus ont fourni la base d'une théorie du renouvellement des fonds océaniques de Hess (1962) largement vérifiée par le programme américain de forages profonds JOIDES (Vine et Matthews, 1963).

Les diverses théories de la dérive des continents et de l'expansion du fond océanique ont été réunies dans l'hypothèse de la tectonique des plaques. Les protagonistes de cette hypothèse pensent que la surface de la terre se compose de minces dalles ou plaques rigides de la lithosphère, comprenant continent et croûte de l'océan. Elles s'avancent sur l'asthénosphère dans la partie supérieure du manteau.

En rassemblant les arguments classiques en faveur de la dérive des continents, on trouve qu'ils sont de cinq catégories : paléoclimatologie, paléontologie, géométrie des contours des continents, stratigraphie et structures identiques des côtes opposées des continents.

Récemment, par exemple, Hurley (1967) a comparé les âges de régions voisines sur le continent primaire reconstitué de l'Afrique et de l'Amérique du Sud. L'Afrique Occidentale peut être divisée en deux provinces précambriennes, basées sur des déterminations de K-Ar et Rb-Sr, l'une d'environ 2 000 MA au Ghana et en Côte d'Ivoire, l'autre d'environ 550 MA au Dahomey et au Nigéria. Le rapport de la région africaine avec celle de São Luis du Brésil est parfait. Le même genre de comparaison entre le Brésil (Salvador) et le Gabon donne aussi un rapport excellent.

Un autre type d'investigation concerne l'âge du bouclier des continents. Hurley et Rand (1969) ont démontré que les continents ont été groupés en deux cratons, il y a 1700 MA. L'un des cratons est connu sous le nom de « Laurasia », l'autre sous celui de « Gondwanie ».

PALÉOMAGNÉTISME

Un autre sujet de recherche, qui a été poursuivi il y a 20 ans, et qui a l'honneur d'avoir été le principal responsable de la renaissance de l'hypothèse Wegnerienne, est celui du paléomagnétisme. Mais, en dépit de ce fait, le paléomagnétisme reste néanmoins le plus discuté des thèmes de la nouvelle tectonique.

En bref, par des déterminations du magnétisme des roches éruptives et sédimentaires, on essaye de savoir si ces roches ont changé de place depuis leur formation primaire, ou si elles sont restées au même endroit. Comme la méthode est encore récente, les antagonistes du paléomagnétisme n'ont pas eu de grandes difficultés à relever des erreurs dans les analyses publiées. Pour ceux de tendance « mobiliste », les résultats des paléomagnétistes sont très valables ; pour ceux qui appartiennent à la tendance « fixiste », ils sont peu convaincants.

LE RENOUVELLEMENT DU FOND DES MERS

Le renouvellement du fond de la mer a eu lieu par un mouvement continu dans le manteau de la terre. On reconnaît des zones de subduction, où la lithosphère descend, et qui sont situées au-dessous des grandes fosses océaniques. Les crêtes océaniques marquent les lignes de montée de la lithosphère renouvelée. On a calculé qu'il faudrait une durée d'environ 200-300 MA pour un renouvellement total du fond des bassins océaniques. Cela pourrait expliquer pourquoi l'on ne trouve pas de sédiments plus anciens que le Trias. Si cette hypothèse est correcte, l'élargissement du fond océanique a lieu par un mouvement qui s'opère dans une certaine direction à partir de la crête. A l'appui de celle-ci, le projet JOIDES a pu constater que les sédiments deviennent plus jeunes vers les crêtes océaniques, c'est-à-dire que la couverture est plus jeune au voisinage des crêtes que dans les régions côtières opposées des continents (voir Wyllie, 1971, fig. 12-22). Voir aussi fig. 1.

TECTONIQUE DES PLAQUES

Des observations sur des anomalies linéaires magnétiques et leurs corrélations avec des renversements du champ magnétique de la terre ont fourni des arguments à l'appui de la thèse de Dietz et Hess concernant l'expansion du fond océanique. En 1967 et 1968, quelques géophysiciens, dont Morgan et le Pichon, formulèrent la notion d'une tectonique des plaques selon la proposition que la surface de la terre se compose de quelques plaques rigides, en mouvement les unes par rapport aux autres. Cette interprétation met aujourd'hui en contradiction la notion de Wegener, c'est-à-dire que les continents sialiques flottent sur le sima et peuvent se déplacer ; les grands blocs primaires seraient fissurés, puis fragmentés, leurs divers morceaux allant à la dérive.

Les crêtes océaniques marquent les frontières de formation de la nouvelle croûte. Les fosses océaniques sont les endroits où la croûte est détruite ou refaite.

D'après le modèle fourni par la tectonique des plaques, ce ne sont pas seulement les continents qui sont en mouvement, mais la croûte continentale, fixée partout dans des plaques, comme un bouchon gelé dans un bloc de glace. Les mouvements différentiels sont de l'ordre de quelques centimètres par an.

La sismologie semble être tout à fait en accord avec ce modèle (voir fig. 2 et fig. 3) de la tectonique globale, et les zones orogéniques sont les régions où des mouvements différentiels entre plaques se produisent.

Il n'est possible d'exposer ici qu'un court résumé de la nouvelle tectonique et de toutes ses implications. Wyllie (1971) a écrit récemment un excellent livre sur ce sujet (voir surtout les chapitres 9, 11, 12, 13 et 14 de ce livre). On peut dire que l'hypothèse de la tectonique des plaques donne une explication intégrée et plausible de la totalité de l'activité tectonique actuelle à la surface de la terre.

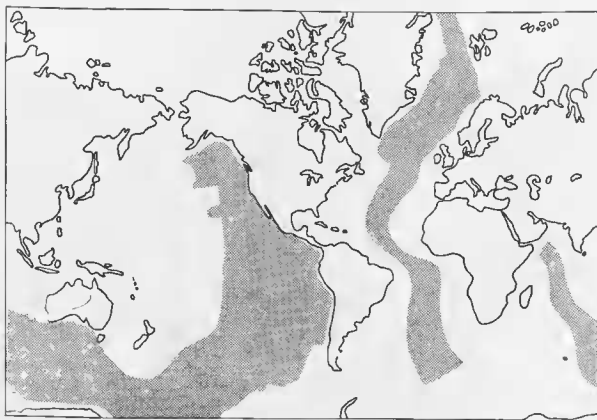


FIG. 1. — Figure schématisant le renouvellement du fond des mers (d'après Wyllie, 1971).

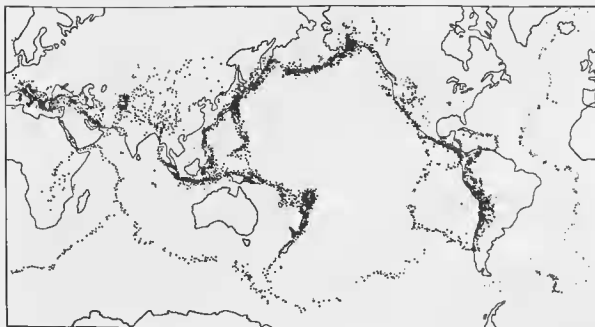


FIG. 2. — Carte de la sismicité mondiale d'après Barazangi et Dorman (1969).

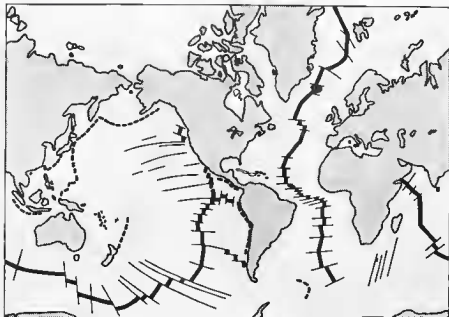


FIG. 3. — Système des plaques principales (d'après le Pichon, 1968).

Cette hypothèse dépend du fait que les déformations aismiques à l'intérieur des plaques sont plus faibles que les mouvements le long des zones sismiques. Le Pichon (MS) en a résumé les principaux traits dans les termes suivants : « L'importance de la stratification des propriétés rhéologiques du manteau ou lithosphère, asthénosphère et mésosphère, la relation étroite entre les déplacements et les contraintes de la lithosphère, et l'activité sismique globale, ainsi que les implications géométriques des déplacements relatifs d'une mosaïque de calottes sphériques rigides et minces à la surface du globe » sont les fondements de l'hypothèse de la tectonique des plaques. Le Pichon considère cette hypothèse comme fournissant un modèle cinématique qui rend compte de l'activité tectonique actuelle.

LA PALÉONTOLOGIE À L'APPUI DE LA NOUVELLE TECTONIQUE

Malgré des résultats vraiment imposants de toutes les branches de la Géophysique, il apparaît que, sans l'appui de la Paléontologie, et surtout de la biostratigraphie et de la paléohiégographie, il ne serait pas possible de synthétiser une théorie tout à fait valable pour la dérive des continents, ou, en accord avec des notions modernes mentionnées ci-dessus, peut-être, la dérive des plaques.

Les considérations suivantes sont essentielles pour une discussion des facteurs paléobiologiques. *Premièrement*, répartition géographique des espèces de plantes et d'animaux marins dans les régions clés. *Deuxièmement*, répartition des organismes terrestres. *Troisièmement*, comparaisons portant sur les séries sédimentaires côtières des régions clés. *Quatrièmement*, comparaisons structurelles entre les bassins des côtes opposées des continents séparés. *Cinquièmement*, biostratigraphie des bassins côtiers opposés, comparaison qui présente un intérêt tout particulier. *Sixièmement*, paléontologie et âge des sédiments du fond des mers et des reconstitutions paléo-océanographiques.

Naturellement, ces diverses applications de la paléontologie posent des problèmes particuliers en ce qui concerne la question du traitement taxonomique.

LES BASSINS CÔTIERS SUD-ATLANTIQUES

Le long des côtes opposées de l'Afrique et de l'Amérique du Sud se trouvent des bassins sédimentaires qui possèdent plusieurs caractères communs, parmi eux : lithologie, structure, faune et flore. Une analyse de ces facteurs montre qu'il existe deux grands groupes de bassins, en partie des bassins méridionaux (Angola, Zaïre, Gabon, Bahia-Sergipe au Brésil), en partie des bassins septentrionaux (comprenant la Côte d'Ivoire, le Sénégal, Potiguar (au Brésil) et Venezuela — la Trinité (Reyment et Tait, 1972). Les bassins du domaine méridional présentent les plus grandes similitudes. Les bassins côtiers clés montrent le développement suivant, de bas en haut :

1) Une série puissante de sédiments continentaux (parfois 500 m) dans un système de grabens ouverts, délimité par des réseaux de failles de décrochement, et qui ont dû débiter par la formation de fosses d'effondrement (Almeida et Black, 1966). Ces sédiments contiennent une faune riche d'ostracodes lacustres, une faune de poissons d'eau douce, et une microflore caractéristique. Ce sont surtout les ostracodes que l'on a étudiés en détail. Krömmelbein (1971) a pu démontrer que les faunes à ostracodes des bassins côtiers de Recôncavo et Sergipe (Brésil) et du Gabon sont à peu près identiques. Le rapport entre ces diverses faunes est plus étroit que celui que l'on trouve, en général, dans un même bassin de sédimentation. Il s'agit là d'une observation étonnante.

2) La formation simultanée, pendant l'Aptien supérieur, de puissants dépôts de sel a été constatée en Angola, au Gabon et au Brésil (Sergipe).

3) L'initiation de conditions marines normales pendant l'Albien moyen et supérieur dans les bassins côtiers.

4) L'étendue des domaines pétrographiques.

L'ORIGINE DES BASSINS CÔTIERS

Les bassins côtiers de l'Atlantique Sud, mentionnés ci-dessus, ont une forme structurale caractéristique de « semi-graben » (Fonseca, 1966), c'est-à-dire qu'ils sont ouverts sur la mer actuelle et limités, du côté intérieur, par des failles importantes. Si ces bassins avaient possédé pendant le Crétacé inférieur la même structure que celle qu'ils ont aujourd'hui (étant ainsi ouverts sur la mer Atlantique), il serait difficile de se représenter comment 5 000 m de sédiments non-marins pourraient s'y être accumulés (Martin, 1968). Si l'on emploie une interprétation de l'évolution des bassins côtiers, basée sur les hypothèses de la Nouvelle Tectonique, cette difficulté, tout comme celle de l'explication des dépôts salifères, se résout avec simplicité. Dans le premier cas, les dépôts lacustres ont été accumulés dans des grands lacs d'origine tectonique (cf. le Great Rift Valley de l'Afrique orientale). Dans le deuxième cas, l'élargissement de la fracture (donc, l'Atlantique primordial) a évolué jusqu'à une phase qui correspondrait à la Mer Rouge d'aujourd'hui.

Il est encore difficile d'envisager une situation climatique, où des dépôts puissants de sel pouvaient s'accumuler, si les bassins avaient été ouverts vers la mer. De plus, on remarque que la stratigraphie détaillée des formations sédimentaires est presque identique. Par ailleurs, le temps pendant lequel l'accumulation de sel eut lieu frappe par sa brièveté.

LES FAUNES À AMMONITES : CONCLUSIONS PALÉO-OcéANOGRAPHIQUES

Après la partie basale du Turonien inférieur, on constate que la barrière, qui avait empêché l'échange direct des eaux des deux bras de l'Atlantique, semble avoir disparu tout à coup (Fig. 5). Dès lors, la répartition géographique des invertébrés marins du domaine Atlantique ne diffère pas de celle d'aujourd'hui.

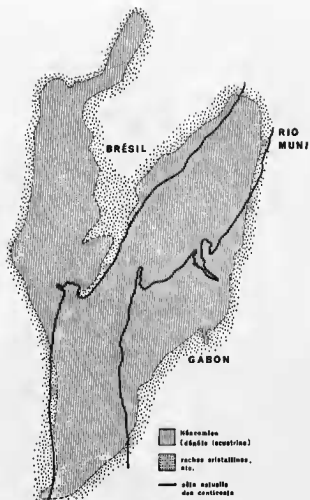


FIG. 4. — Reconstitution du lac « Bahia-Gabon » pendant le Néocomien. Position initiale des continents d'après Bullard et al. (1965).

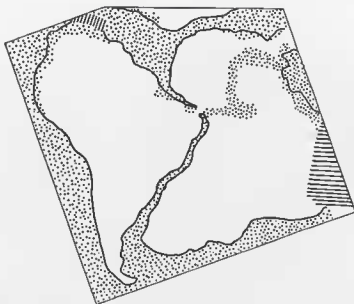


FIG. 5. — Reconstruction de la mer Atlantique pendant le Turonien inférieur.

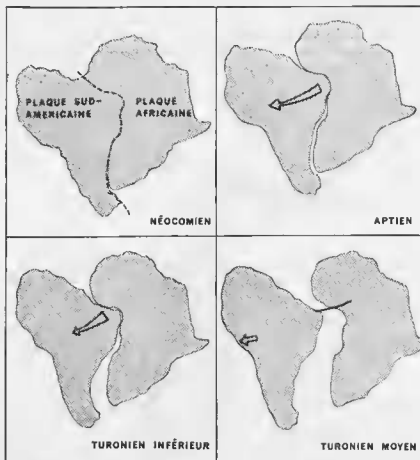


FIG. 6. — *Néocomien* : Formation des plaques de l'Afrique et de l'Amérique du Sud par la rupture de la lithosphère lors de la transition entre le Jurassique et le Crétacé. La frontière entre les deux plaques est marquée par un trait pointillé. Pour les océanologues cet épisode marque la naissance de la mer. La ligne entre les plaques est marquée par des structures de tension et paléogéographiquement par la formation de grands lacs (Fig. 4). *Aptien* : Début de la formation du fond atlantique par la rotation de l'Amérique du Sud. La flèche montre la direction du mouvement. Des dépôts de sel ont été formés dans la mer étroite et peu profonde. *Turonien inférieur* : Élargissement du fond de la mer. Étape précédant l'ouverture définitive de l'Atlantique. *Turonien moyen* : Réunion des deux bras de la mer Atlantique. Le mouvement de l'Amérique du Sud continue par suite de failles transformantes. Les mouvements de rotation ont cessé. La flèche montre la direction de mouvement à partir du Turonien moyen.

Ce fait est particulièrement significatif pour l'interprétation du développement de la Mer Atlantique. La première personne qui a reconnu ce fait et qui a discuté en détail les implications géologiques d'une telle barrière, est K. Beurlin (1961). Basant ces conclusions sur les différences totales entre les faunes crétacées du bassin de Potiguar (Rio Grande do Norte, Brésil) et du bassin de Sergipe-Alagoas, plus au Sud, il suggéra que l'Atlantique avait dû rester fermé à cet endroit, jusqu'au Crétacé supérieur (voir Fig. 5). À l'égard de cette observation, il faut décider s'il s'agit d'un pont traversant l'Atlantique Sud, comme s'imaginaient jadis les paléontologues, ou d'une dérive des deux continents.

Il apparaît que les ammonites sont le groupe le plus important pour préciser le moment où débute la dérive et ses principales étapes, et le moment où eut lieu l'ouverture définitive de l'Atlantique, c'est-à-dire sa naissance, car, après la mort de l'animal ammonitique, la coquille vide de la plupart des espèces a flotté longtemps, de la même façon que le *Nautilus* actuel (Reyment, 1958; 1970).

Les faunes principales d'ammonites de l'Atlantique Sud, pendant le Crétacé, sont premièrement, la faune à *Elobicerus* (sous-famille Mortoniceratinae de l'Albien supérieur). Cette faune se limite, presque entièrement, au Nigéria, l'Angola et le Brésil). La paléobiogéographie du Cénomaniens supérieur de l'Afrique septentrionale montre quelques particularités dans la répartition des ammonites.

La transgression cénomaniens est caractérisée par des espèces du genre *Neolobites*, qui se trouvent partout dans la région téthysienne, mais pas dans les gisements cénomaniens des bassins côtiers de l'Atlantique. La faune à vasocératides du Turonien inférieur joue un rôle clé dans l'interprétation de la paléogéographie de l'Atlantique. Leur répartition montre que pendant le Turonien inférieur il existait une jonction entre la Téthys et l'Atlantique, qui ne dura que peu de temps, et qui eut lieu par une transgression transcontinentale à travers le Sahara. On ne trouve pas la faune sud-atlantique et téthysienne à vasocératides dans la partie septentrionale de l'Atlantique Sud, c'est-à-dire, dans la région au nord d'une ligne Pernambuco-Nigéria.

Dès l'Albien jusqu'au Turonien basal, les faunes à mollusques de la région située au sud de cette ligne hypothétique formèrent une province biologique presque entièrement isolée.

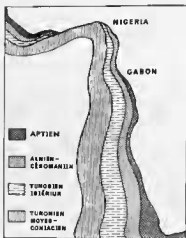


Fig. 7. — Dessin montrant la répartition possible des sédiments Crétacés marins beaux de la partie sud-est de l'Atlantique Sud. Ces sédiments se trouvent sur le fond de l'océan. Ils sont couverts par des dépôts plus jeunes.

L'ÉTENDUE DES DOMAINES PÉTROGRAPHIQUES

On sait depuis longtemps que chaque domaine pétrologique de la Terre comprend un grand nombre de traits particuliers qui forment une combinaison unique de caractères. Il est donc possible d'employer ce fait dans l'analyse des positions relatives des continents (la même notion est valable pour la répartition de gisements métallifères et on l'a déjà employée dans la prospection des gisements).

La région de l'Atlantique Sud offre un bon exemple de ce type d'analyse. Dans les environs de Recife (Pernambuco, Brésil), à Cabo, on a identifié un granite hyperalcalin qui est comparable à ceux du Nigéria et du Cameroun, où la mise en place d'un grand nombre de complexes annulaires eut lieu entre le Jurassique et le Paléocène (Almeida et Black, 1966). Des datations radiométriques indiquent un âge d'environ 90 MA. Ceci confirme les conclusions basées sur la paléontologie, que les grands mouvements de dérive ont dû commencer durant le Crétacé supérieur.

Almeida et Black (1966) ont employé la reconstruction de Bullard et al. (1965) pour confronter les cartes géologiques du Brésil et de l'Afrique occidentale. On a noté que la continuité des directions structurales (Pflug, 1963) se prolonge d'un continent à l'autre. De plus, la nature pétrologique des granites syntectoniques est presque identique et on a souligné la coïncidence des grands linéaments (par exemple, l'accident de Pernambuco se poursuit au Cameroun).

Soulignons enfin les importantes conséquences que la nouvelle tectonique aura pour la prospection minière et pétrolière. Les conceptions qui guident avec succès le travail dans une région d'un continent doivent être applicables à la région opposée de l'autre continent.

REMERCIEMENTS

Je remercie ici le Professeur Th. Monod de la confiance qu'il m'a témoignée en me chargeant de la préparation de cette note, le Professeur X. le Pichon de m'avoir communiqué un manuscrit essentiel avant publication, le Professeur Hugues Faure d'avoir lu et critiqué la première version de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- ALMEIDA, F. F. M. & BLACK, R., 1966. — Comparaison structurale entre le N.E. de Brésil et l'ouest africain. *M. S. BARAZANGI, M. & DORMAN, J.*, 1969. — World seismicity maps compiled from ESSA coast and geodetic survey epicenter data, 1961-1967. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 59, 369.
- BEURLIN, K., 1961. — Die paläogeographische Entwicklung des südatlantischen Ozeans. *Nova Acta Leopoldina*, 24, 1-36.
- BULLARD, E. C., EVERETT, J. E., & SMITH, A. G., 1965. — The fit of the continents around the Atlantic. *Phil. Trans. roy. Soc. London*, A 258, 41-51.
- FONSECA, J. L., 1966. — Geological outline of the Lower Cretaceous Bahia supergroup. *Proc. 2nd W. Afr. Micropal. Colloqu.* (Ibadan, 1965), 49-71.
- HESS, H. H., 1962. — History of the ocean basins. In ' Petrologic Studies ', Buddington Memorial Volume. *Geol. Soc. Amer.*, 599-620.
- HURLEY, P. M. 1967. — Continued age investigations in Brazil, and implications regarding continental drift. *15th Ann. Progr. Rep. U.S. Atom. Energ. Comm. (Contract AT (30-1)-1381)*, 7-11.
- HURLEY, P. M. & RAND, J. R. 1969. — Pre-drift continental nuclei. *Science*, 164, 1229-1242.
- KRÖMMELBEIN, K., 1971. — Non-marine Cretaceous ostracodes and their importance for the hypothesis of ' Gondwanaland '. *Proc. 2nd IUGS Gondwana Symp.* (South Africa, 1970), 617-619.
- LE PICHON, X., 1968. — Sea-floor spreading and continental drift. *J. geophys. Res.*, 73, 3661-3897.
- LE PICHON, X., 1972. — Cinématique de la Tectonique des Plaques (MS).

- MARTIN, H., 1968. — A critical review of the evidence for a former direct connexion of South Africa with Africa. In : *Biogeography and Ecology in South America*, Ed. Fittkau et al., W. Junk, The Hague, 25-53.
- REYMENT, R. A., 1958. — Factors in the distribution of fossil cephalopods. *Stockh. Contr. Geol.*, 1, 91-184.
- REYMENT, R. A., 1970. — Vertically imbedded cephalopods shells. Some factors in the distribution of fossil cephalopods, 2. *Palaeogeogr., Palaeoecol., Palaeogeoc.*, 7, 103-111.
- REYMENT, R. A. and TAIT, E. A., 1972. — Biostratigraphical dating of the early history of the South Atlantic Ocean. *Phil. Trans. roy. Soc. London*, 264, 55-95.
- VINE, F. J. & MATTHEWS, D. H., 1963. — Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, 199, 947-949.
- WEGENER, A., 1915. — *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. F. Vieweg, Braunschweig.
- WYLLIE, P. J., 1971. — *The Dynamic Earth*. Wiley & Sons, London-New York.
- WILLEM, P., 1967. — Généralités sur la structure des océans. *Techniques marines pour la recherche et l'exploitation du pétrole*. Éditions Technip, 1-8.